

초광대역 대역통과여파기의 설계와 제작에 관한 연구

A Study on the Design and Fabrication of the UWB Bandpass Filter

국정형*, 최병하*, 김규철*, 박정률*, 함민수*

Jung-Hyoung Goog*, Byoung-Ha Choi*, Gyu-Cheol Kim*, Jung-Ryul Park* and Min-Su Ham*

요 약

이 논문에서는 마이크로스트립을 이용하여 차단주파수가 10.2 GHz인 계단형 임피던스 구조의 저역 통과 여파기를 설계하고, 차단주파수 3.2 GHz인 병렬 스텝을 이용한 고역 통과 여파기를 설계하여 서로 결합하고 삽입하여 소형화하는 방식으로 UWB 대역을 포함하는 대역통과여파기를 설계, 제작하였다. 설계에 사용된 기판의 유전율은 2.2, 높이 0.508mm, loss tangent 0.0009이고, 대역통과 여파기의 넓이는 약 3 cm의 소형으로 제작되었다. 통과 대역에서의 측정 결과 -10 dB 대역폭은 7.5 GHz, -3dB 이하의 삽입손실의 특성을 보였다. 이 연구의 결과 UWB 통신 시스템과 MIC/MMIC, RFIC 시스템에 충분히 이용될 수 있을 것이다.

Abstract

In this paper, a band pass filter with a rejection band is proposed for UWB(Ultra Wide Band) communication system. First, low pass filter accessed cut off frequency of 10.2 GHz was designed using structure stepped impedance. And high pass filter accessed cut of frequency of 3.2 GHz was designed using parallel short-stub. There was implemented composite connection of designed low pass filter and high pass filter. The relative dielectric constant, the height, the loss tangent of the PCB substrate were $\epsilon_r = 2.2$, $h = 0.508$ mm, and loss tangent = 0.0009 respectively. The fabricated band pass filter shows a compact size of 3 cm. The fabricated band pass filter was characterized using 37169A VNA(Vector Network Analyzer). And measured result were obtained 7.5 GHz of bandwidth and -10 dB of return loss and -3 dB of insertion loss from pass band. The result of the research can be used for the UWB communications and MIC/MMIC, RFIC system.

Key Words: UWB, SIR, stub structure, bandpass filter

I. 서 론

최근 초고속 멀티미디어 시스템의 발달과 수요증가에 따라 UWB(Ultra Wide Band) 무선 기술이 제안되어 각광을 받고 있다. UWB 무선 기술은 2002년 미국 FCC(Federal Communication Commission)에서 factional

bandwidth가 20% 이상이거나 500 MHz 이상의 RF 대역폭을 갖는 시스템으로 정의하였으며, 통신용으로 3.2 ~ 10.2 GHz 대역에서 사용이 허가되었다. 이에 따라 UWB 시스템에 적용하기 위하여 안테나, 여파기 등을 포함한 많은 RF 소자들에 대한 연구들이 진행되고 있다[1][2]. 특히 UWB용 대역 통과 여파기를 설계하기

* 목포해양대학교 해양전자통신공학부(Div. of Marine Electro. & Comm. Eng., Mokpo National Maritime University)

· 제1저자 (First Author) : 국정형

· 투고일자 : 2008년 12월 7일

· 심사(수정)일자 : 2008년 12월 8일 (수정일자 : 2009년 1월 12일)

· 게재일자 : 2009년 2월 28일

위하여 다양한 방법들이 제시되었다. 통과 대역이 수 GHz인 UWB 여파기를 설계하는데 있어 정확한 대역 설계의 어려움으로 고역 통과 여파기와 저역 통과 여파기를 결합함으로써 구현할 수 있다. 또한, 단락 스테르브를 이용한 고역 통과 여파기를 사용하여 UWB 대역 통과 여파기를 구현할 수 있다. 하지만 이 방법들은 마이크로스트립 구조로써 via를 사용하는 단점과 크기가 큰 문제이다[3].

최근에는 via를 사용하지 않고 신호선과 접지면 사이의 용량성 결합을 보다 쉽게 얻을 수 있는 CPW(Coplanar waveguide) 구조를 이용하여 여파기를 구현하는 연구들이 활발히 진행되고 있으며, multiple-mode 공진기를 이용하여 CPW 대역통과 여파기를 구현할 수 있다. 하지만 이러한 여파기들은 사용 주파수 대역내에서 무선랜 주파수 대역에서 간섭 문제가 발생할 수 있다[4].

이 논문에서는 마이크로스트립을 이용하여 차단주파수가 10.2 GHz인 계단형 임피던스 구조의 저역 통과 여파기를 설계하고, 차단주파수 3.2 GHz인 병렬 스테르브를 이용한 고역 통과 여파기를 설계하여 서로 결합하고 삽입하여 소형화하는 방식으로 UWB 대역을 포함하는 대역통과여파기를 설계, 제작하였다.

II. 여파기 이론

여파기(Filter)는 입력된 여러 주파수 성분 중 원하는 주파수만 통과시키고 나머지는 감쇄시켜 통과하지 못하게 하는 역할을 한다. 결국 여파기는 주파수를 선택해 주는 역할을 하며, 주파수 선택 특성에 따라 저역 통과(low pass), 고역통과(High pass), 대역통과(Bandpass), 대역저지(Bandstop) 여파기로 나뉜다. 대역저지 여파기는 모든 주파수 대역은 잘 통과시키면서 특정 대역의 주파수만 통과시키지 않는 형태의 여파기이다. 대역저지 여파기는 마이크로웨이브 회로에서 발생하는 하모닉(Harmonic)성분이나 기생 성분들을 제거하는 등 주로특정 주파수의 유입을 차단하기 위해 사용된다. 여파기의 기본 원리는 바로 L과 C의 조합에 의한 공진이다. 집중 정수 소자인 L과 C를 직접 이용한 여파기뿐 아니라 구조적인 공진 여파기도 분

석하면 결국 등가의 인덕턴스(Inductance) 성분과 캐패시턴스(Capacitance) 성분을 추출해낼 수 있다.

여파기의 특성 중 가장 중요한 것은 삽입 손실(Insertion loss)과 스커트(Skirt) 특성이다. 삽입 손실이란, 신호가 여파기를 통과하면서 손해를 보는 전력을 의미하며, 스커트 특성은 통과대역과 저지대역이 얼마나 구분이 잘 되는가를 의미한다.

2-1 계단형 임피던스 공진기

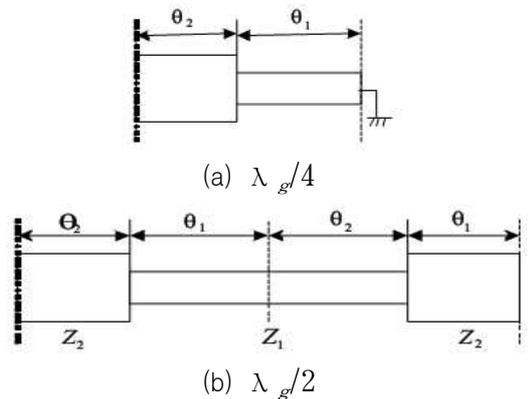
온도특성이 좋은 유전체를 사용한 SIR (Step impedance resonator) 여파기는 온도변화에 대해 양호한 주파수 특성을 갖고, 두 임피던스 비 K를 변화시키면 원하는 스푸리어스 응답과 삽입손실을 얻을 수 있다.

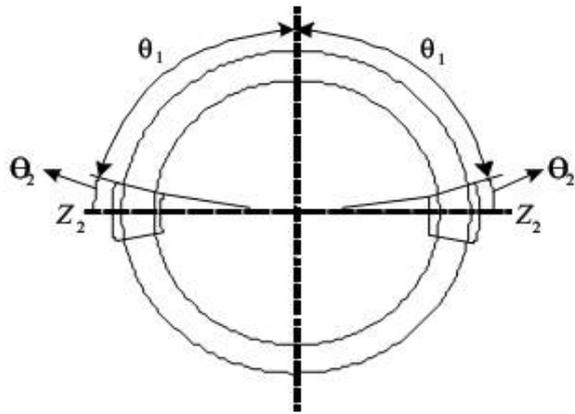
Makimoto가 제안한 SIR은 좌우 대칭이면 서로 다른 임피던스 (Z_1, Z_2)로 구성되어 있다. 이 공진기의 어드미턴스는 $K = Z_2/Z_1$ 이고, 전기적 길이가 $\theta_1 = \theta_2 = \theta$ 이면 식 (1)과 같다.

$$Y_i = jY_2 \frac{2(1+K)(K - \tan^2\theta)\tan\theta}{K - 2(1+K+K^2)\tan^2\theta + K\tan^4\theta} \quad (1)$$

(식 1)에서 공진 조건은 공진 주파수에서 $Y_i = 0$ 이므로, 이를 통해 (식 2)를 얻을 수 있으며, 여기서 θ_0 는 공진 주파수에서의 전기적 길이를 나타낸다.

$$K = \tan^2\theta \quad (2)$$





(c) λ_g

그림 1. 계단 임피던스 공진기 기본 구조

Fig. 1 Structure of stepped impedance resonator.

계단 임피던스 공진기는 임피던스가 다른 두 개 이상의 전송 선로로 구성되어 있다. 그림 1은 스트립라인 외형의 경우에 따른 구조 변화의 전형적인 형태를 보여준다. 그림 1 (b)에서 보여준 $\lambda_g/2$ 타입은 open-ended 구조인 반면에 short-circuit 구조로 또한 이용된다. 계단 임피던스 공진기의 세 가지 모든 타입에 기본 구조 요소의 공통은 중간 단계의 접합부와 open/short 회로가 끝에 구성하고 있는 혼성의 전송 선로이다. 계단임피던스 공진기의 특성 전기적 파라미터는 두 전송선로 임피던스의 Z_1 과 Z_2 의 비율이다.

K 는 계단 임피던스 공진기의 특성을 나타내는 성질 안에서 가장 중요한 파라미터이다.

이렇게 정의된 K 와 통과 대역과의 관계는 다음 식과 같으며 여기서 f_0 는 여파기의 통과 대역 중심 주파수, f_{s1} 은 두 번째 통과 대역 중심 주파수를 나타낸다.

$$\frac{f_{s1}}{f_0} = \frac{\pi}{2 \tan^{-1} \sqrt{K}} \quad (3)$$

2-3 스테르브를 이용한 공진기

일반적인 스테르브 대역 통과 여파기는 공진기로 동작하는 $\lambda_g/4$ 단락형 또는 $\lambda_g/2$ 개방형 스테르브들과 인버터로 동작하는 $\lambda_g/4$ 전송 선로로 구성되어 있다. 그런데 여파기의 스테르브 임피던스를 그대로 사용하여 광대역으로 설계하면, 스테르브 임피던스 값의

문제로 인해 실제 구현 및 제작이 어려운 단점을 갖게 된다.

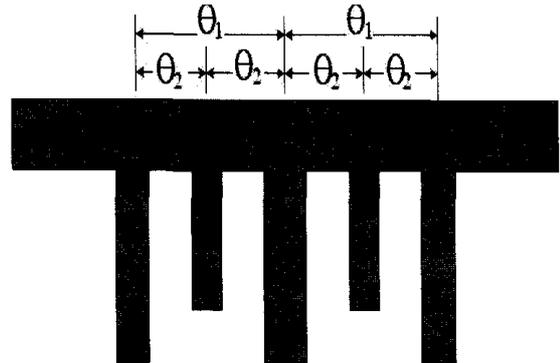


그림 2. 스테르브를 이용한 공진기 기본 구조

Fig. 2 Structure of resonator using stub.

스테르브를 이용한 여파기에서는 발생하는 고조파를 억제하기 위해 대역저지 여파기를 집적화 시키는 기술이 필요하며, 스테르브와 스테르브 사이에 연결되는 전송선로 위치에 또 다른 대역저지 여파기를 삽입하거나, 스테르브의 간격을 조절하여 통과대역 이외에서 발생하는 2차 고조파를 억압할 수 있다.

III. 대역통과 여파기 설계

3-1 대역통과 여파기 설계

연구의 목표는 UWB 대역에서 사용하기 적합한 대역통과 여파기의 설계이며 여파기를 구현하기 위해 저역통과 여파기와 고역통과 여파기를 설계하여 결합한 대역통과 여파기를 설계하였다.

고주파 대역에서 사용할 수 없는 L과 C는 마이크로 스트립라인을 이용하여 계산된 패치와 스테르브를 이용하고 차단주파수에서 최적화된 동작을 위하여 각각의 여파기를 기본적인 이론에 근거하여 초기 규격을 계산하고, 이를 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 CST MWS를 이용하여 최적화한 후 이를 제작하고 측정하여 성능을 확인하는 방법으로 진행하였다.

대역통과 여파기를 설계하기 위한 기관의 제원은 다음 표 1과 같다.

표 1 대역통과 여파기의 제원
Table. 1 Information of band pass filter.

| | |
|-----------------------|----------|
| 비유전율 (ϵ_r) | 2.2 |
| 기판 두께(h) | 0.508 mm |
| 탄젠트손실 | 0.0009 |

설계할 대역통과 여파기의 사양은 다음 표 2와 같다.

표 2 대역통과 여파기의 사양
Table. 1 Information of band pass filter.

| 구 분 | 설계 사양 |
|---------|----------------|
| 주파수 범위 | 3.2 ~ 10.2 GHz |
| 주파수 대역폭 | ≥ 7 GHz |
| 반사 손실 | ≤ -10 dB |
| 삽입 손실 | ≥ -3 dB |

3-2 저역통과 여파기 설계

저역통과 여파기는 마이크로스트립라인을 이용한 계단 임피던스 구조로 설계하였다. 각 패치와 전송선로는 L과 C로 계산된 구조로써 차단주파수가 10.2 GHz에서 최적화된 동작을 위해 선로의 폭과 길이를 설계하였다.

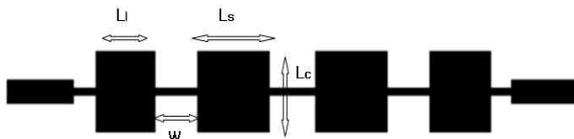


그림 3. 저역통과 여파기
Fig.3 Layout of low pass filter.

각각의 패치 소자는 중심주파수 6 GHz에서 마이크로스트립 라인 이론에 따라 L1은 2.67 mm, Ls는 3.2 mm, Lc는 3.2 mm, W는 2 mm로 설계하였다. 이때의 고역 차단주파수는 10.3 GHz으로 통과대역이 UWB 대역을 충분히 포함하며 약 8 GHz 이상의 대역폭을 얻었다.

그림 4는 저역통과 여파기의 특성을 나타내고, 차단주파수는 10.3 GHz이다. 이때의 통과대역은 -20 dB이

상이고, 삽입손실은 약 -3 dB로 비교적 우수한 값을 갖는다.

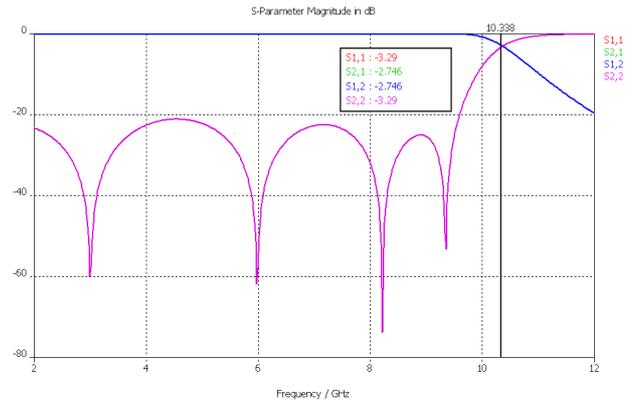


그림 4. 저역통과 여파기의 차단 주파수
Fig.4 Cutoff frequency of low pass filter.

3-3 고역통과 여파기 설계

고역통과 여파기는 차단주파수에서 전기적 길이를 갖는 스테브를 전송선로에 결합하여 원하는 주파수에서 공진이 일어나도록 스테브의 길이와 차수, 폭을 조절하였다. Lstub = Linv = 6 mm 이고, 전기적 길이는 약 $\lambda_g/4$, 계산된 임피던스는 약 100 Ω 이었다.

그림 과 같이 스테브를 $\lambda_g/4$ 간격으로 3개를 배치하면 그림 과 같은 여파기의 특성을 얻을 수 있다.

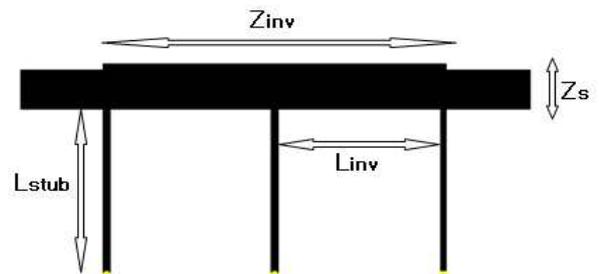


그림 5. 고역통과 여파기
Fig.5 Layout of high pass filter.

그림 6은 고역통과 여파기의 특성을 나타내고, 차단주파수는 3 GHz와 15 GHz이다. 통과대역은 저역통과 여파기와 마찬가지로 -20 dB이상, 삽입손실은 약 -3 dB이다.

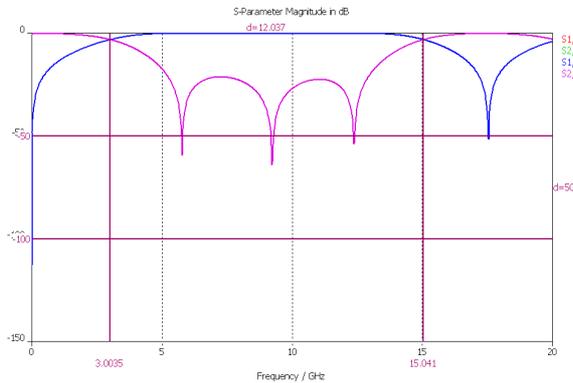


그림 6. 고역통과 여파기의 차단 주파수
Fig.6 Cutoff frequency of high pass filter.

3-4 대역통과 여파기 설계

설계되어진 계단형 임피던스 공진기 구조의 저역통과 여파기의 전송 선로 부분에 3개의 스테브를 갖는 고역통과 여파기를 소형화를 위해 composite 결합을 하였다.

Composite 결합을 한 이유는 저역통과 여파기와 고역통과 여파기를 Cascade 결합을 하게 되면 대역통과 여파기가 넓어지게 되어 초소형화 하는데 어렵기 때문이다.

표 3 대역통과 여파기 파라미터
Table. 3 Design parameter of band pass filter.

| | |
|----------|----------|
| Lstub | 6.35 mm |
| Linv | 6.07 mm |
| Zinv | 12.3 mm |
| Zs | 1.5 mm |
| f_{lc} | 3.2 GHz |
| f_{hc} | 10.4 GHz |

그림 6에서 보면 고역통과 여파기의 스테브의 간격이 $\lambda_g/4$ 씩 나누어 구성되어 가운데 스테브의 $\lambda_g/4$ 길이는 결합(coupling) 구조로 캐패시턴스(C) 값에 따라 대역폭 넓이가 변화한다. 따라서 등가적으로 캐패시터값이 높아지고 인덕터(L)값이 낮아지면서 대역폭이 좁아지게 된다. 또한 UWB 대역에서는 무관하지만 약 18 GHz 대역에서 고조파 성분이 발생한다.

가운데 스테브를 제거하게 되면 캐패시터값이 낮아지고 인덕터값이 높아지면서 대역폭이 넓어지면서 고조파 성분을 제거할 수 있었다. 첫 번째와 세 번째의 $\lambda_g/4$ 길이를 갖는 스테브는 간격이 $\lambda_g/2$ 가 되고, 단락형으로 구성되어 있어 고역통과 여파기의 역할이 가능해 진다.

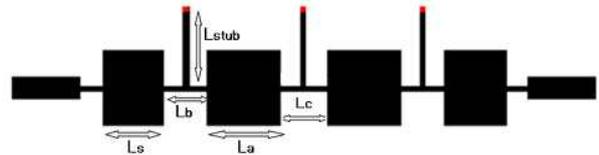


그림 7. 3개 스테브를 이용한 대역통과 여파기
Fig.7 High pass filter using 3 stub.

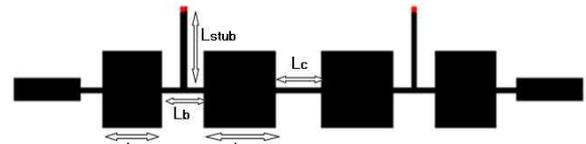


그림 8. 2개 스테브를 이용한 대역통과 여파기
Fig.8 High pass filter using 2 stub.

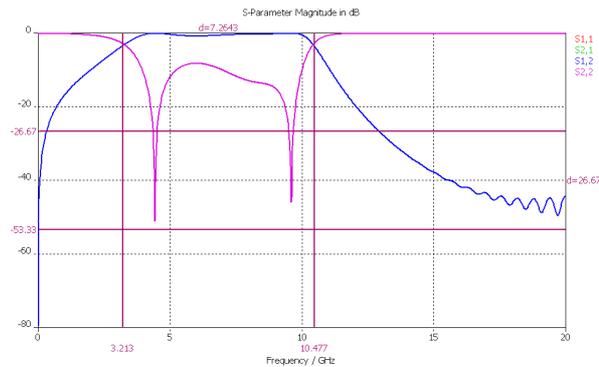


그림 9. 대역통과 여파기 특성
Fig.9 Characteristic of band pass filter.

그림 9는 대역통과 여파기의 특성을 나타내고, 차단주파수는 3.21 GHz와 10.47 GHz이다. 통과대역은 약 -10 dB의 값을 갖는다. 이때의 삽입손실은 약 -3 dB이다.

IV. 제작 및 검토

컴퓨터 시뮬레이션에 의해 최적화하여 설계된 대역통과 여파기는 SMA 커넥터를 이용한 마이크로스트립

라인 급전방식을 사용하였고, Anritsu사의 37169A VNA(Vector network analyzer)를 사용하여 특성을 측정하였다.

V. 결 론

최근 다양한 신규 무선기술의 발달과 서비스의 수요의 증가에 따른 주파수의 수요가 증가되고 있고 주파수 대역이 3.2 ~ 10.2 GHz인 UWB기술이 대두되고 있다.

이 논문에서는 UWB 대역에서 사용할 수 있는 초소형 대역통과여파기를 설계 및 구현하였다.

차단주파수가 10.2 GHz인 계단 임피던스 구조의 저역통과 여파기와 차단주파수가 3.2 GHz인 전기적 길이를 갖는 병렬 스텐브를 삽입한 고역통과 여파기를 설계하고 이를 Composite방식의 결합을 통한 대역통과 여파기로 구현하였다. 이 논문에서 제안하는 여파기는 기존의 대역통과 여파기에 비해 구현이 용이하며 동시에 소형화할 수 있다는 장점을 갖는다.

제작된 여파기는 UWB시스템에 적용 가능한 형태로서, MIC/MMIC, RFIC 등 초고주파 회로 설계에 응용될 것으로 기대되며 UWB용 안테나에 결합하여 소형화된 대역통과여파기 결합형 UWB 안테나로 활용될 것으로 기대된다.



그림 10. 대역통과 여파기의 측정결과
Fig.10 Measured result of band pass filter.

제작된 대역통과 여파기의 -3 dB 대역폭은 3.18 ~ 10.61 GHz로 UWB 전 대역을 통과하는 우수한 특성을 얻었지만 커넥터 손실과 스텐브를 단락시킬 때 비아 홀등 제작상의 오차로 시뮬레이션 결과와 다소 차이를 보인다.

참 고 문 헌

[1] G. Y. Chen, J. S. Sun, S. Y. Huang, Y. D. Chen and C. H. Lin, "Characteristics of UWB antenna and wave propagation", *Int' Signal processing and Commun. Systems*, vol.13, pp.713-716, Dec. 2005

[2] W. T. Wong, Y. S. Lin, C. H. Wang, and C. H. Chen, "High selective microstrip band pass filters for ultra-wideband(UWB) applications", *IEEE Microwave Conference Proceedings, Asia-Pacific Conference Proceedings*, 2005

[3] J. Gao, L. Zhu, W. Menzel, and F. Bogelsack, "Short-circuited CPW ultiple-mode resonator for ultra-wideband(UWB) band pass filter", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 16, no.3, Mar. 2006

[4] <http://www.uwbforum.org>

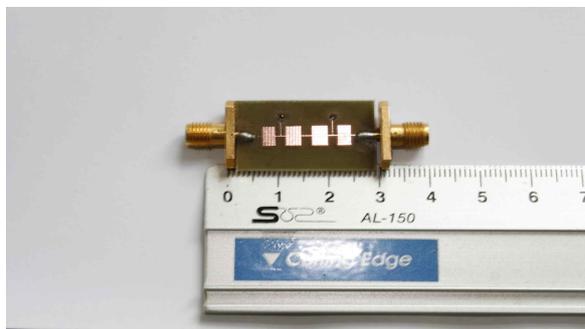


그림 11. 제작된 대역통과 여파기
Fig.11 Fabricated of band pass filter.

국정형 (鞠政亨)



2007년 2월 : 국립 목포해양대학교 해양전자통신공학부 공학사
2008년 현재 : 국립 목포해양대학교 대학원 해양전자통신공학과 공학석사
관심분야 : 송수신용 안테나, 이동통신 및 위성통신, RF 능/수동 소자

박정률 (朴貞律)



2003년 8월 : 국립 목포해양대학교 해양전자통신공학부 공학석사
2008년 3월 ~ 현재 : 목포해양대학교 해양전자통신공학부 박사과정
관심분야 : 송수신용 안테나, 이동통신 및 위성통신, 방송통신

최병하 (崔炳夏)



1969년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 공학사
1981년 3월 ~ 1983년 2월 : 건국대학교 대학원 전자공학과 공학석사
1987 : 통신기술사
1988년 3월 ~ 1993년 2월 : 한국 항공대학교 대학원 전자공학과 공학 박사
1972년 ~ : 국립 목포해양대학교 해양전자통신공학부 교수
관심분야 : 안테나, 해상 이동통신 및 위성통신

함민수 (咸民秀)



2002년 8월 : 국립 목포해양대학교 해양전자통신공학부 공학사
2007년 2월 : 국립 목포해양대학교 해양전자통신공학과 공학석사
2007년 3월 ~ 현재 : 국립 목포해양대학교 해양전자통신공학과 박사과정
관심분야 : 소형 안테나, 이동통신 및 위성통신, RF 능/수동 소자, RFID

김규철 (金奎喆)



2002년 2월 : 국립 목포해양대학교 해양전자통신공학부 공학사
2003년 8월 : 목포해양대학교 해양전자통신공학부 공학석사
2007년 3월 : 오사카대학 전자정보에너지공학과 공학박사
2006년 11월 ~ 2008년 2월 : Matushita Electric Works 중앙연구소 연구원
2008년 3월 ~ 현재 : 국립 목포해양대학교 해양전자통신공학부 전임강사
관심분야 : 고주파용CMOS소자 모델링, RF능/수동 소자, 아날로그 집적회로설계